

VI ежегодная научная конференция школьников Иркутской области
«Человек и космос»

ТРОЯНСКИЕ АСТЕРОИДЫ

Выполнила:

Клименко Юлия,
10 класс,
НОУ «Лицей № 36 ОАО «РЖД»

Руководитель:

Климушкин Д.Ю.

г. Иркутск, 2015-2016

Содержание

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1.	4
1.1. Что такое Троянские астероиды?	4
1.2. Троянцы создают равносторонний треугольник	5
ГЛАВА 2. ТРОЯНСКИЕ АСТЕРОИДЫ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ	7
2.1. Троянские астероиды Земли. 2010 ТК7	7
1.3. Троянские астероиды Марса	9
1.4. Троянские астероиды Юпитера	9
1.5. «Троянцы» в «мертвой зоне» Нептуна	11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	12
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	12

Введение

Человеку ещё с древних времен было необходимо искать ключи к загадкам космоса, ибо, познавая его, он познавал себя. Ещё в первобытности наши далекие предки наблюдали за небом. Оно завораживало, завораживало и самых блистательных умов античности, и великих ученых средневековья, простых людей и любителей науки, детей и взрослых. И сейчас, глядя в небо, мы задаёмся вопросом: «Что же на самом деле представляют собой эти светящиеся точки на небе?» Благодаря современным технологиям и знаниям, прошедшим сквозь столетия мы уже можем позволить себе ответить на этот вопрос. На небе человек может наблюдать целый ряд разнообразных, совсем не схожих по размерам и яркости объектов. Прежде всего, звёзды – газообразные раскалённые массивные объекты, состоящие, в основном, из гелия и водорода; планеты – менее массивные объекты, обращающиеся вокруг звёзд; галактики – целые скопления огромного количества звёзд; кометы – маленькие, неправильной формы, объекты, состоящие из смеси нелетучих компонентов и замерзших газов; астероиды – малые планеты, сравнительно небольшие каменные небесные тела, обращающиеся вокруг Солнца по орбитам. Остановимся на наиболее интересных объектах – астероидах.

Астероиды встречаются, как правило, вблизи внешних планет (дальние от Земли); существует так называемый Пояс астероидов между Марсом и Юпитером, в котором сконцентрирована большая часть астероидов Солнечной системы. Другие астероиды вращаются либо по собственным орбитам, либо по орбитам планет. Последние называются астероидами-тройняками. Исследуем эти удивительные тела нашей Солнечной системы.

Актуальность работы заключается в том, что астероиды-тройняки могут представлять опасность для нашей планеты, являться «сборником» космического мусора, находящегося близ орбиты Земли, а также служить местом расположения исследовательских станций.

Цель: исследовать астероиды-тройняки.

Задачи: дать определение астероидам-тройнякам их характеристики, воспользовавшись теоретическим материалом, понять движение астероидов-тройняков, рассмотрев задачи по теме, определить практическую ценность данных астероидов для будущих поколений человечества.

Объект исследования: необычные тела Солнечной системы – астероиды-тройняки.

Методы исследования: анализ научных статей по данной теме, решение задач.

Глава 1.

1.1. Что такое Троянские астероиды?

В 1772 году благодаря идеям французского математика и астронома Жозефа Лагранжа было установлено, что рядом с планетами Солнечной системы на некруговых орбитах могут бесконечно долго и устойчиво находиться малые тела (астероиды). Эти тела находятся вблизи триангуляционных точек (точек, образующих треугольники), называемых точками Лагранжа, в областях устойчивого движения, в которых гравитация Солнца и планеты уравнивается, позволяя этим телам долго двигаться по одной орбите с планетой.

Астероиды, расположенные в этих точках (точки Лагранжа L4 и L5, представленные на рисунке) называются троянскими. Примечательно расположение этих точек. Каждая из двух точек L4 и L5 образует с Солнцем и планетой равносторонний треугольник. О происхождении названия астероидов см. раздел 1.4.

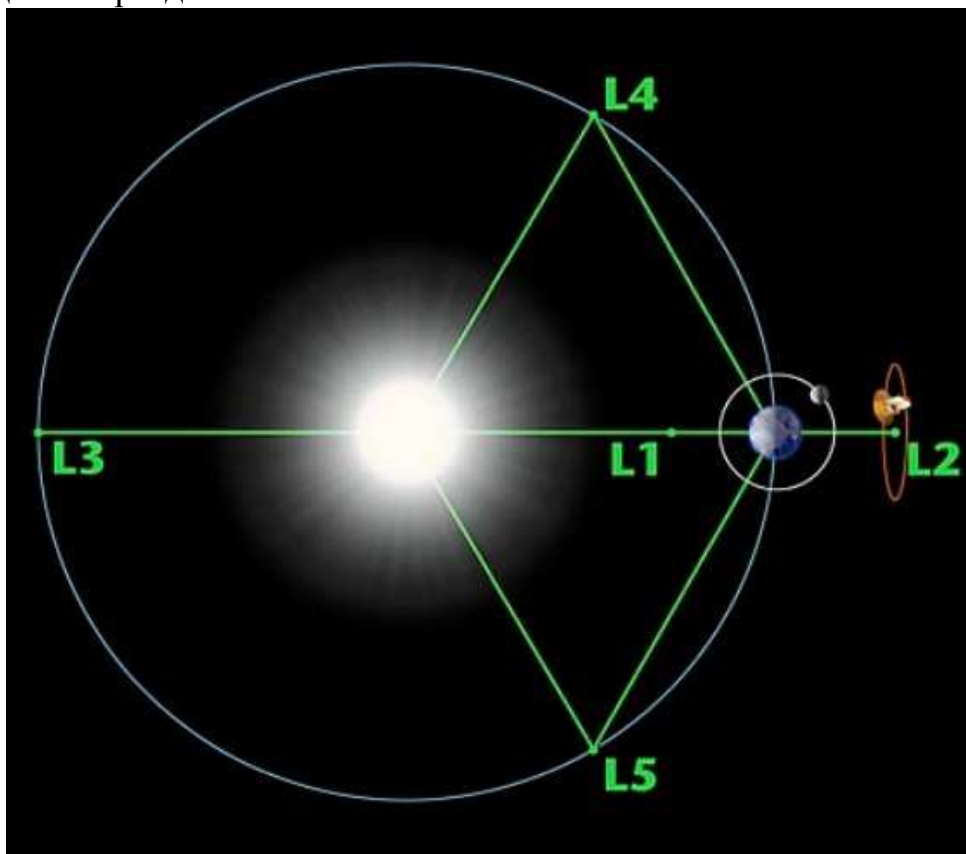


Рис.1. Расположение точек Лагранжа в системе Солнце-планета

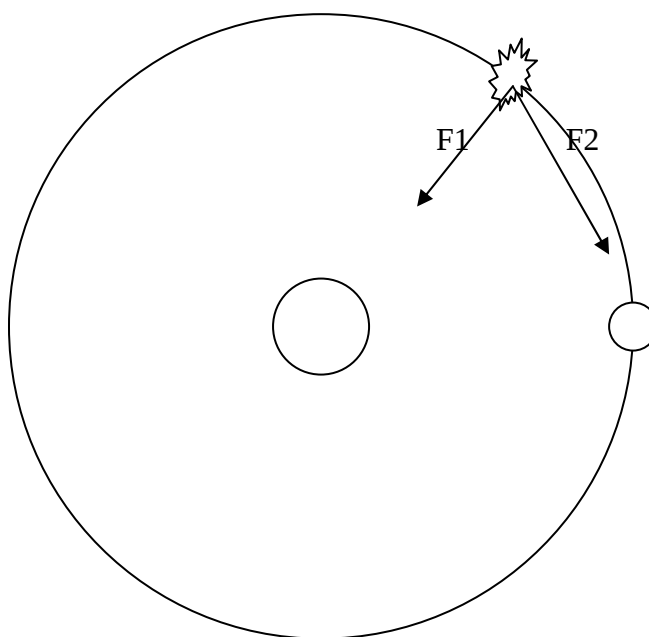
С развитием наблюдательной астрономии, астероиды в точках Лагранжа были обнаружены сначала на орбитах Юпитера (более тысячи), потом Марса (несколько) и Нептуна (несколько). На данный момент кроме троянцев Юпитера, Марса, Нептуна известны троянцы Урана и Земли.

1.2. Троянцы создают равносторонний треугольник

Как уже говорилось в предыдущем пункте, «троянцы», находясь в точках Лагранжа L4 и L5, создают равносторонний треугольник с Солнцем и планетой. Докажем этот факт.

На рисунке схематически изображен «троянец» неправильной формы, Солнце (в центре) и планета (например, Юпитер). Запишем второй закон Ньютона для астероида:

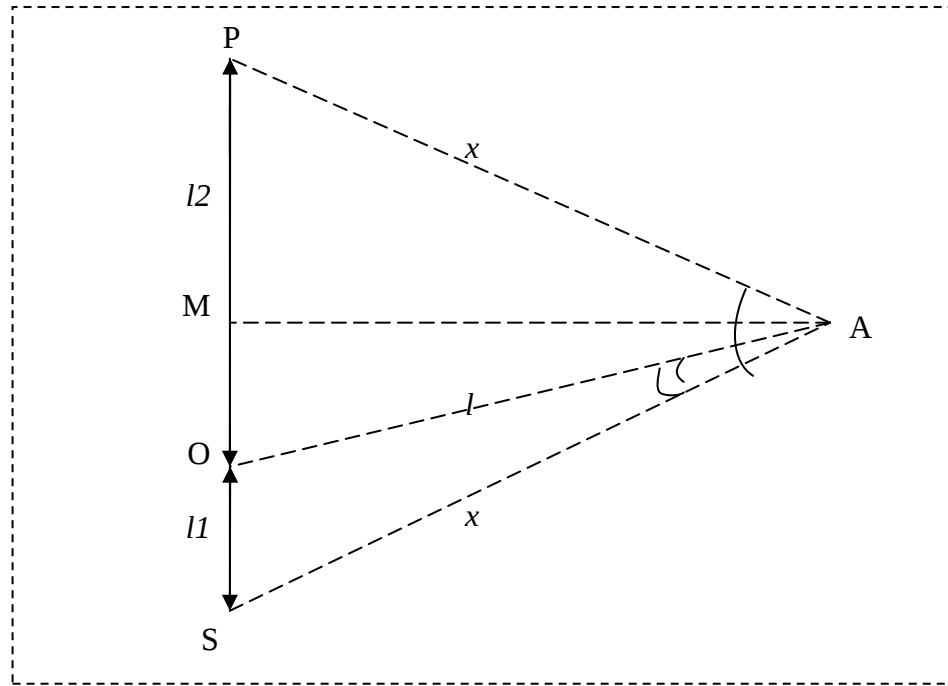
$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2, \text{ где } \vec{F}_1 \text{ и } \vec{F}_2 - \text{силы притяжения к звезде и к планете.}$$



Траектория астероида должна быть окружностью, так как «троянец» обращается вокруг Солнца с планетой как единое целое. Тогда ускорение астероида есть его центростремительное ускорение, направленное к центру масс Солнца и планеты.

Поскольку масса астероида пренебрежимо мала по сравнению с массами планеты и звезды, то центр масс находится между точками S и P на расстоянии l_1 от первой и l_2 от второй, где

$$l_1 = r \frac{M_2}{M_1 + M_2}, l_2 = r \frac{M_1}{M_1 + M_2}. \text{ (} m_1 r_1 = m_2 r_2, \text{ центр тяжести)}$$



Незначительный размер астероида также указывает на то, что астероид не оказывает влияния на динамику системы Солнце-планета, т.е. период движения этих тел по орбитам такой же, как и при отсутствии астероида и выражается с помощью III закона Кеплера (обобщенного). Так как астероид, планета и звезда всегда расположены одинаково друг к другу, то период движения астероида должен быть таким же.

Следовательно, ускорение астероида есть

$$a = \omega^2 l = \gamma \frac{M_1 + M_2}{r^3},$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T}$ - угловая скорость движения астероида, l – расстояние от него до центра масс системы.

Спроецируем уравнение движения астероида на направление SA:

$$m \frac{\gamma(M_1 + M_2)}{r^3} \cos \beta_1 = \frac{\gamma m M_1}{x^2} + \frac{\gamma m M_2}{x^2} \cos \beta$$

Рассмотрим прямоугольный треугольник MPA. Найдем $\sin(\beta/2) = r/2x$.

$$\text{Тогда } \cos \beta = 1 - 2 \sin^2 \frac{\beta}{2} = 1 - \frac{r^2}{2x^2}.$$

По теореме косинусов из ΔOAS :

$$l^2 = l_1^2 + x^2 - 2l_1 x \cos \alpha = l_1^2 + x^2 - l_1 r,$$

Откуда

$$l \cos \beta_1 = \frac{2x^2 - l_1 r}{2x}.$$

Теперь уравнение (1) можно переписать в виде:

$$\frac{\gamma(M_1 + M_2)}{r^3} \frac{2x^2 - l_1 r}{2x} = \frac{\gamma m M_1}{x^2} + \frac{\gamma m M_2}{x^2} \left(1 - \frac{r^2}{2x^2}\right),$$

$$(M_1 + M_2) \left(\frac{1}{r^3} - \frac{1}{x^3} \right) = \frac{M_2}{2} \frac{r^2}{x^2} \left(\frac{1}{r^3} - \frac{1}{x^3} \right).$$

Единственное решение уравнения $x=r$. Следовательно, $r=PS=PA=SA$. Треугольник равносторонний. Что и требовалось доказать.

Глава 2. Троянские астероиды в Солнечной системе

2.1. Троянские астероиды Земли. 2010 ТК7

Если бы мы взглянули на небо с надеждой отыскать «тройянца», движущегося вместе с Землёй по её орбите, он бы находился в 60° позади или впереди Солнца.

Первоначально было открыто несколько астероидов, движущихся по орбите с Землёй, например, астероид Круитни. Такие астероиды не являются троянцами, поскольку движутся не в точках Лагранжа L4 и L5.

Впервые в 2010 году у Земли был обнаружен троянский астероид, именуемый незамысловато - 2010 ТК7. Он был открыт американскими учеными при помощи инфракрасного космического телескопа WISE. Астероид представлял собой огромную скалу, движущуюся впереди нашей планеты, имел диаметр 600 м и обращался вокруг точки L4, выходя из плоскости движения всех планет по их орбитам (плоскость эклиптики). В точке L5 троянских астероидов пока не обнаружено.

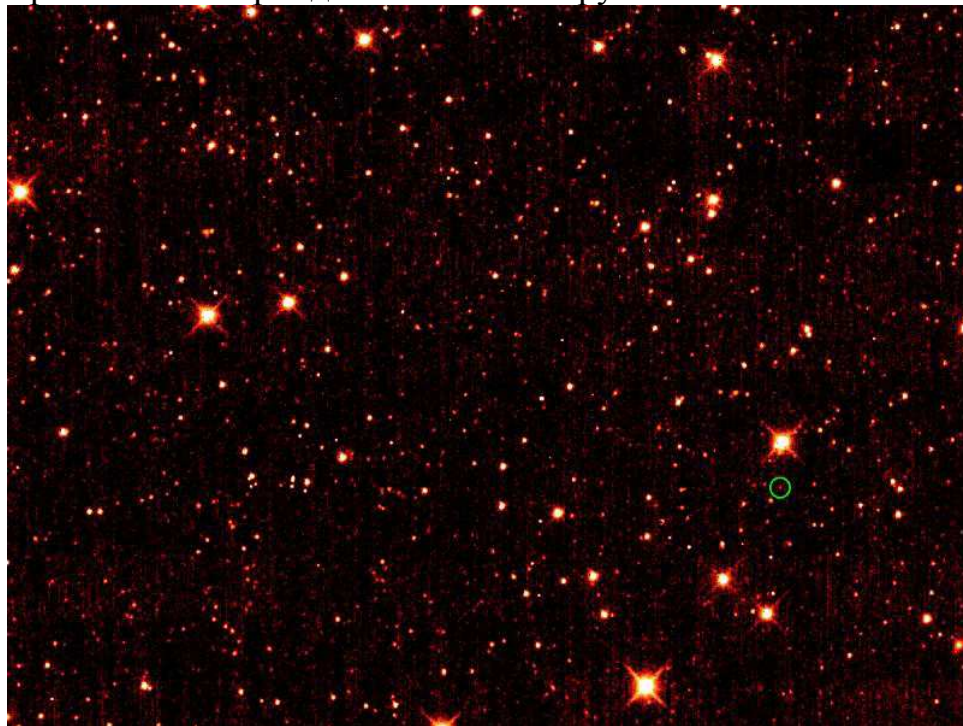


Рис.2. На фотографии 2010 ТК7, обозначенный зелёным кружком

Долгое время ни одного троянского астероида на орбите Земли обнаружить не удавалось, в силу того, что троянцы обычно не уходят далеко от точки Лагранжа; они всегда находятся вблизи Солнца, и наблюдать их приходится днём, что крайне затруднительно, так как астероиды крайне малы по размерам и теряются в лучах Солнца. Однако астероид 2010 ТК7 обладает необычайно широкими колебаниями и в момент наблюдения удалился от Солнца на 90° , что способствовало его открытию.

Затем в апреле 2011 года с помощью гавайского телескопа CFHT удалось собрать более точные данные о 2010 ТК7. Стала известна его абсолютная звёздная величина, альbedo, диаметр, а также ускорение свободного падения, равное $a=0,00005 \cdot g$, где g - ускорение свободного падения на Земле.

Астероид обращается вокруг Солнца по орбите, близкой к орбите Земли с периодом 365,389 суток, в то время как для Земли этот период равен 365,256 суток.

Малый эксцентриситет позволяет ему удаляться от Земли довольно далеко в космос — от 0,81 а. е. в сторону Венеры, до 1,19 а. е. в сторону Марса. К тому же орбита имеет очень большой наклон к эклиптике, почти 21° , из-за чего астероид сильно колеблется в вертикальной плоскости относительно земной орбиты, удаляясь от своей точки Лагранжа на значительное расстояние.

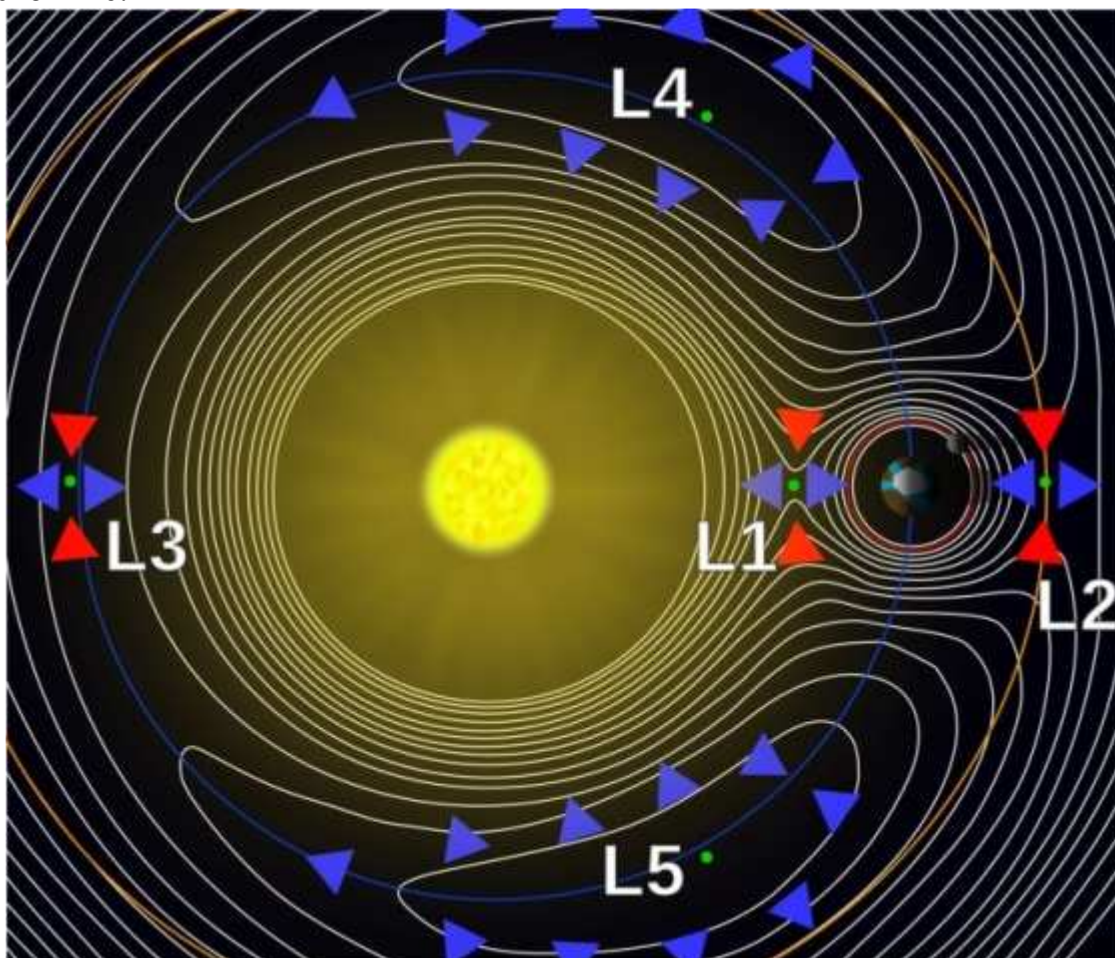


Рис.3. Воображаемые линии движения 2010 ТК7. Синими точками отмечены возможные перемещения астероида от точек L4 и L5.

1.3. Троянские астероиды Марса

В настоящее время открыто всего лишь 5 марсианских «троянцев».

- 1999 UJ7 - небольшой астероид, который вращается вблизи точки L4, открытый 30 октября 1999 года. Астероид около 1 км в диаметре, находится в спектральном классе X (астероиды с высоким содержанием металлов).
- Эврика – ещё один троянец Марса, находящийся в марсианской точке Лагранжа L5. Астероид движется по орбите на расстоянии 0,3 а.е. от Марса позади него. Стал первым обнаруженным троянским астероидом Марса.
- 2007 NS2 был открыт 14 июля 2007 года астрономами обсерватории Ла-Сагра. Результаты расчетов показали, что астероид вращается по устойчивой орбите уже миллиарды лет. Возможно, с него начинался Марс.
- DN47 открыт 1 февраля 2001 года. Наряду с 2007 NS2 вращается по устойчивой орбите уже миллиарды лет и может послужить доказательством, как образовалась планета Марс.
- 1998 VF31 как и Эврика содержит много металлов и ахондритов на поверхности, которая подвергается выветриванию.

1.4. Троянские астероиды Юпитера

Троянские астероиды Юпитера - это две большие группы малых тел, которые движутся в окрестностях L4 и L5. Именно с «троянцев» газового гиганта и начиналась история этих удивительных астероидов.

С открытием юпитерианских троянских астероидов возникла традиция называть астероиды вокруг точки L4 именами греческих героев, а вблизи L5 – героев Трои.

Существует так называемый «Ахейский лагерь» (или «Греки»). В их число входят следующие астероиды: Ахиллес, Гектор, Нестор, Агамемнон, Одиссей, Аякс, Диомед, Антилох, Менелай, которые опережают Юпитер на 60 градусов.

В «Троянский лагерь» же (или «Троянцы») входят: Патрокл, Приам, Эней, Антиф, Троил, отстающие от Юпитера на 60°.

Всего на август 2014 года было открыто 2052 троянцев в точке L5 и 4021 греков в L4.

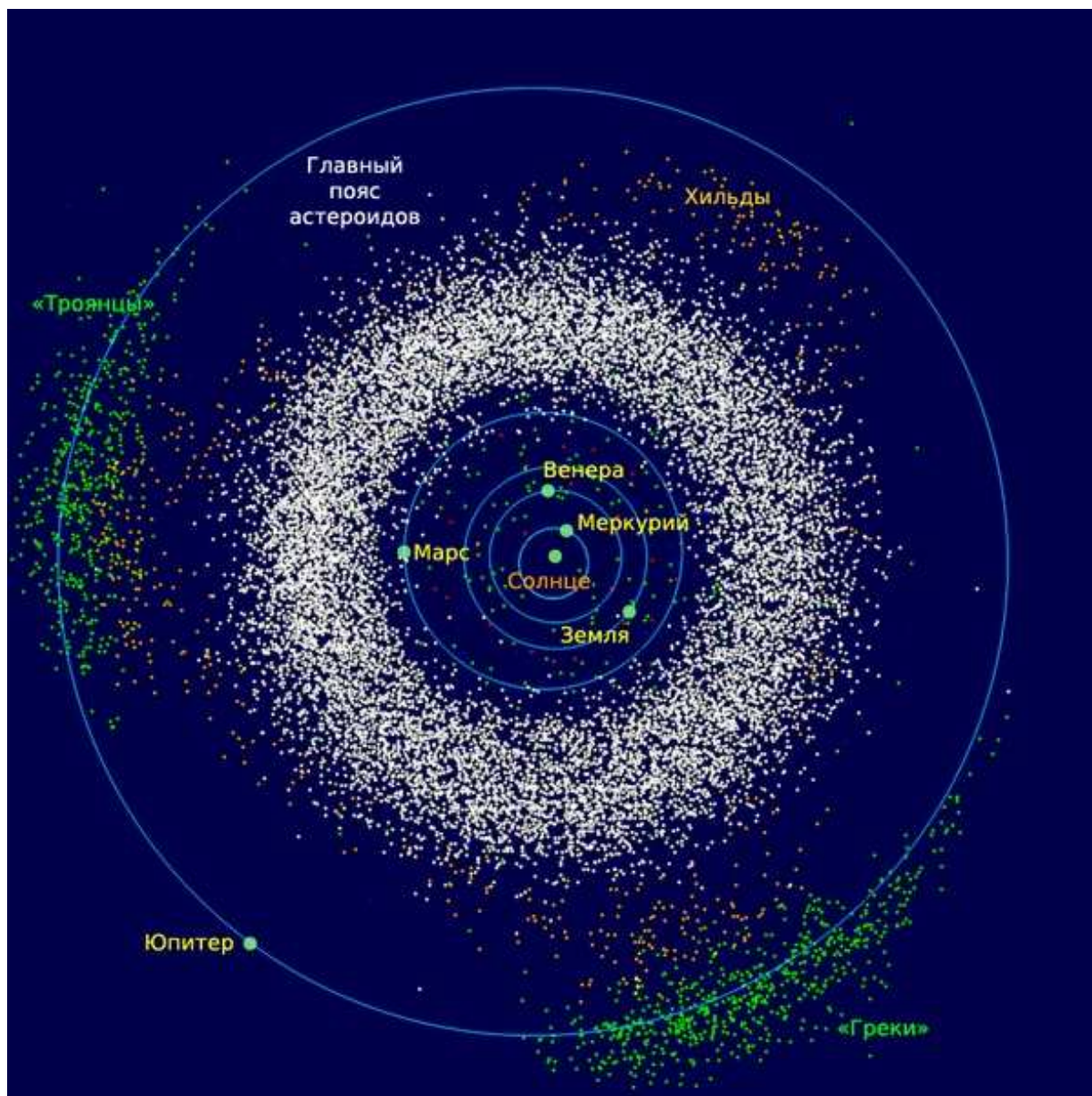


Рис.4. Происхождение «троянцев» Юпитера

Существует две гипотезы возникновения троянцев на орбите Юпитера. Согласно первой, астероиды возникли вместе с Юпитером из протопланетного облака. Однако в этой теории есть один большой недостаток: по расчетам количество объектов, образовавшихся таким образом, примерно в 10000 раз превышает то, что мы наблюдаем в настоящее время. Помимо этого, образовавшись в плоскости эклиптики вместе с газовым гигантом, они должны были двигаться в этой плоскости, чего на самом деле не происходит.

Вторая теория утверждает, что астероиды образовались путём перемещения их из Пояса Койпера, когда Юпитер миллиарды лет назад сблизился с Сатурном, в результате чего Сатурн, Нептун и Уран увеличили радиус своих орбит, а Юпитер наоборот оказался ближе к Солнцу, что повлияло на гравитационное поле Пояса и привело к отдалению некоторой его части к орбите Юпитера.

Астроном и астробиолог Джон Хорнер создал модель для рассмотрения гипотез. Сначала он разделил все юпитерианские троянцы на динамически стабильные и нестабильные. Оказалось, что из известных астероидов лишь 1173 Анхис, не является динамически устойчивым. Исследователь 200 тыс. раз «копировал» Анхис. Каждый астероид-клон имел орбиту, лишь незначительно отличающуюся от реальной. Затем Хорнер предоставил систему самой себе на 4 миллиарда лет.

А вот и результат. Примерно половина астероидов-клонов покинула Солнечную систему или упала на свою планету за первые 350 миллионов лет симуляции. Спустя 4 миллиарда лет только 224 клон Анхиса оставались в облаке троянцев Юпитера — это около 1%. Какой можно сделать из этого вывод?

Во-первых, большая часть юпитерианских троянцев является динамически устойчивой, что доказывает гипотезу о сближении Юпитера с Сатурном. Если бы он всегда оставался на своей орбите, сближаться с троянцами было бы невозможно, так как Пояс Койпера — уже устоявшееся динамическая система, из которой сложно выйти и войти.

Во-вторых, все астероиды, вращающиеся по одной орбите с Юпитером сейчас, по мнению ученого, были захвачены им в момент миграции, оттеснив Сатурн от Солнца и приблизившись к нему. Это можно объяснить тем, что система Сатурн-Юпитер в момент их сближения стала крайне неустойчивой, что позволило астероидам с лёгкостью проникнуть туда. После сближения двух планет астероиды в силу огромной массы Юпитера остались именно у него, а не у менее массивного Сатурна.

Итак, первая гипотеза была опровергнута. На данный момент самой вероятной считается вторая.

1.5. «Троянцы» в «мертвой зоне» Нептуна

13 августа 2010 года впервые были обнаружены в так называемой "мертвой зоне" Нептуна в окрестностях точки Лагранжа L4 шесть "троянцев". Нептун и расположенные рядом с ним объекты находятся очень далеко, так что их непросто изучать в принципе, и, кроме того, их слабое излучение маскируется ярким светом звезд Млечного Пути.

Авторы новой работы изучили имеющиеся снимки неба и нашли пылевые облака, которые загораживают излучение звезд Галактики. При помощи телескопа "Субару" из обсерватории Мауна Кеа на Гавайских островах астрономы искали троянские астероиды в Лагранжевой точке Нептуна L5 на фоне облаков. В итоге ученым удалось увидеть объект диаметром около ста километров, который был назван 2008 LC18.

Ученые полагают, что в окрестностях Лагранжевой точки Нептуна L5 могут располагаться около 150 троянских астероидов.

Заключение

В результате проведенных исследований, Троянские астероиды – совсем новые, ещё не до конца изученные объекты Солнечной системы. Их открытие было крайне сложным процессом ввиду их интересного расположения на орбитах планет.

Нельзя не отметить, что при практическом изучении объектов также выяснилось, что «троянцы» образуют равносторонние треугольники с системой Солнце-планета, что крайне интересно и несёт в себе практическую ценность. Астероиды могут служить станциями для установки мощных телескопов для наблюдения дальнего космоса. Кроме того, исследование троянских астероидов важно для понимания природы короткопериодических комет и кентавров – астероидов, проявляющих также и свойства комет. Изучение «троянцев» позволяет получать важные данные об эволюции Солнечной системы.

Используемая литература

1. Википедия. 2010 ТК4: https://ru.wikipedia.org/wiki/2010_TK7
2. «Квант», Воробьев И. «Троянцы» — М., 1976. — № 5. — С. 11—16.
3. Статья об открытии «троянца» Земли:
<http://ria.ru/science/20110727/408188855.html>
4. Статья об обнаружении «троянцев» Нептуна:
<http://lenta.ru/news/2010/08/13/trojan/>